

Niederdruckplasma, Vorbehandlung zur Verbesserung der Adhäsionseigenschaften

Dr.-Ing. M. Rasche

Ingenieurbüro für Klebtechnik, Oberflächentechnik, Niederdruckplasmatechnologie, Berlin



Niederdruckplasma, Vorbehandlung zur Verbesserung der Adhäsionseigenschaften

Dr.-Ing. Manfred Rasche, Ingenieurbüro für Klebtechnik, Oberflächentechnik und Niederdruckplasmatechnologie
1000 Berlin 46, Preysingstr. 67



1. Einleitung

Da mit wachsender Verwendung von Kunststoffen für konstruktive Anwendungen deren Klebbarkeit immer größere Bedeutung erhält und Vorbehandlungen mit umweltbelastenden Verfahren nur mit Vorbehalt eingesetzt werden können, dürften umweltfreundliche Vorbehandlungen, wie die Vorbehandlung im Niederdruckplasma, im Folgenden kurz Ndp-Vorbehandlung genannt, eine steigende Bedeutung erlangen. Die Umweltfreundlichkeit des Verfahrens ist darin begründet, daß keine verbrauchten Beizbäder anfallen, die mit hohem Aufwand beseitigt werden müssen, und daß der Prozeß in einem geschlossenen System abläuft und somit ein unkontrolliertes Entweichen von Schadstoffen nicht möglich ist. Bei der Ndp-Behandlung gegebenenfalls entstehende Schadstoffe fallen nur in sehr geringem Umfang an und können leicht abgefangen und nachbehandelt werden. Da die verwendeten Gase nicht giftig sind, geht von ihnen keine Gefährdung aus.

2. Aufbau einer Niederdruckplasmaanlage

In **Bild 1** ist der Aufbau einer Niederdruckplasmaanlage schematisch dargestellt. Die Gase werden aus einer Flaschenbatterie über Druckminderer und Durchflußmesser der Prozeßkammer zugeführt. Durch Zusammenschalten zweier Volumenströme ist es möglich, Gasgemische einzuleiten. Das Vakuum in der Kammer wird im allgemeinen mit einer Drehschieberpumpe mit konstantem Fördervolumen erzeugt. Die Anordnung der Hochfrequenzelektroden

kann je nach Ndp-Anlage unterschiedlich sein. Bei der verwendeten Anlage waren sie als Halbschalen außen um die Kammer herum angeordnet.

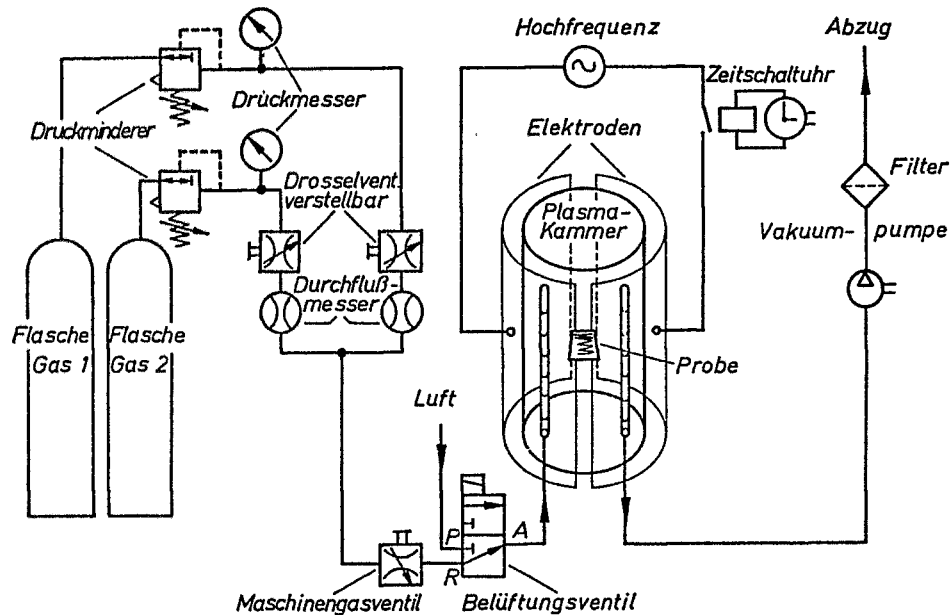


Bild 1 Aufbau einer Niederdruckplasmaanlage

3. Ablauf der Niederdruckplasmabehandlung

Nach dem Einbringen der Teile in die Prozeßkammer wird diese verschlossen und evakuiert. Wenn der minimale Druck erreicht ist, erfolgt bei weiterhin laufender Vakuumpumpe die Einleitung des Prozeßgases. Es wird so viel Gas in die Kammer eingelassen, daß sich der gewünschte Arbeitsdruck einstellt. Er betrug bei den vorgestellten Ergebnissen, unabhängig von der Gasart, 100 Pa. Während des gesamten Behandlungsvorganges wird ein Gasdurchsatz durch die Kammer aufrechterhalten. Damit ist gewährleistet, daß gegebenenfalls anfallende Zersetzungs- und Reaktionsprodukte ab- und frisches Prozeßgas zugeführt wird.

Beim Einschalten des elektrischen Feldes entsteht das Plasma. Abhängig vom Kammerdruck und vom Prozeßgas ist ein in Farbe, Helligkeit und Verteilung unterschiedliches Plasmaleuchten in der Prozeßkammer zu beobachten. Eine Zeitschaltuhr schaltet die

Hochfrequenz nach Ablauf der Behandlungszeit ab, das Plasma verlischt. Anschließend wird die Kammer belüftet und die Proben können zum Kleben entnommen werden.

4. Wirkungsmechanismen

Mit Plasma wird die "Gesamtheit der Teilchen eines Volumenelementes einer Gasentladung" bezeichnet /1/. Durch die Gasentladung werden Teile des Plasmagases in einen angeregten Zustand gebracht; so ist beispielsweise die Elektronentemperatur in einem Niederdruckplasma wesentlich höher als die Temperatur des neutralen Gases /1/. Die aktivierten Teilchen des Plasmagases reagieren mit der Umgebung, z.B. mit den Kunststoffteilen, die im Plasma exponiert sind und rufen Veränderungen an den Oberflächen hervor. Diese veränderten Oberflächen können eine bessere Klebeignung besitzen als die ursprünglichen.

Die Vorgänge im Plasma und die Reaktionen des Plasma mit der Oberfläche sind sehr vielfältig, was eine wissenschaftlich exakte Erklärung erschwert. Bei einer Auswertung der Literatur /2, 3/ ergaben sich unterschiedliche und teilweise einander widersprechende Aussagen.

An dieser Stelle sollen einige Mechanismen erwähnt werden. Die Ndp-Behandlung führt zu:

- der Entfernung der für eine Klebverbindung ungeeigneten "weak-boundary-layer" von der Oberfläche /4/.
- einem höheren Vernetzungszustand in den äußeren Bereichen des Kunststoffteiles /4/.
- Bildung von Radikalen an der Oberfläche /5/.
- Oxidation der Oberfläche /6/.
- Degradation der Polymerketten /7/.
- zur Bildung von Elektreten /7/. Mit diesem Mechanismus muß analog zur Coronabehandlung gerechnet werden.
- einer Änderung der Taktizität /8/.
- einem Werkstoffabtrag von der Oberfläche /9/.

Da der Wirkungsmechanismus noch nicht exakt geklärt ist, soll auf die einzelnen Angaben nicht näher eingegangen werden. Lediglich das Abtragen von der Oberfläche und die damit verbundene Änderung der Oberflächentopographie, wird näher dargestellt. Die Ndp-Behandlung soll in diesem Beitrag vorwiegend aus technologischer Sicht, an hand von Versuchsergebnissen, auf ihre Eignung zur Klebflächenvorbehandlung von Kunststoffteilen hin, vorgestellt werden.

5. Werkstoffabtrag

Dem Werkstoffabtrag von der Oberfläche kann bei der Vorbehandlung von Kunststoffteilen eine besondere Bedeutung zukommen, da Kunststoffteile vielfach einen inhomogenen Aufbau haben. Für spritzgegossene Polyoxymethylen (POM)-Teile konnte gezeigt werden, daß gerade in den äußeren Bereichen der Teile, in denen Klebflächenbehandlungen wirksam werden, Inhomogenitäten vorhanden sind, die sich auf die Klebfestigkeit auswirken dürften /9/.

Um einen Werkstoffabtrag der Ndp-Behandlung von der Probenoberfläche abschätzen zu können, wurde die Probe in einem Teilbereich mit einem Tropfen Klebstoff abgedeckt, **Bild 2 a**, und dann einer Ndp-Behandlung unterzogen. Der Tropfen ist anschließend entfernt worden. Damit trat die ursprüngliche Oberfläche des behandelten Teiles wieder hervor. Aus rasterelektronenmikroskopischen (REM)-Aufnahmen des Übergangsbereiches der unbehandelten zur behandelten Oberfläche, **Bild 2 b**, kann der Materialabtrag bei Polypropylen (PP) abgeschätzt und die Veränderungen der Oberflächentopografie beobachtet werden.

In **Bild 3** wird der aus Gewichtsmessungen ermittelte Werkstoffabtrag, von der Oberfläche eines POM-Teiles, durch die Behandlung im Sauerstoffplasma gezeigt. Der Abtrag steigt linear mit

der Behandlungszeit an. Nach 30 min Ndp-Behandlung, der für eine maximale Klebfestigkeit notwendigen Behandlungsdauer, sind 7 μm abgetragen worden.

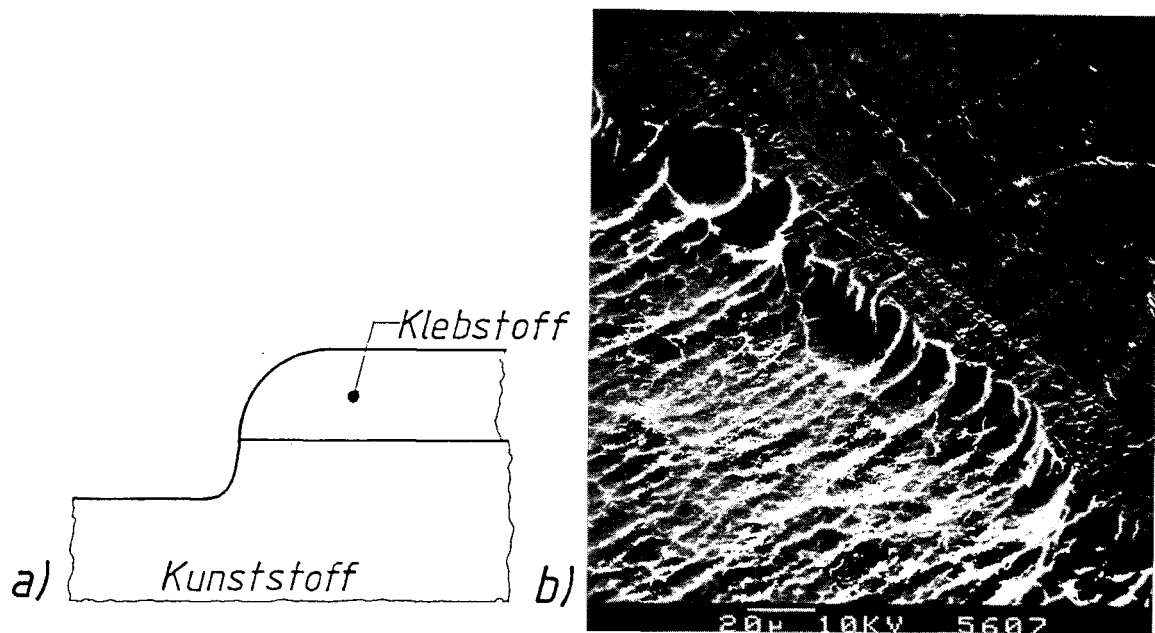


Bild 2 Werkstoffabtrag durch eine Ndp-Behandlung

a) Probenvorbereitung

b) Materialabtrag bei PP durch 30 min Behandlung im Sauerstoffplasma

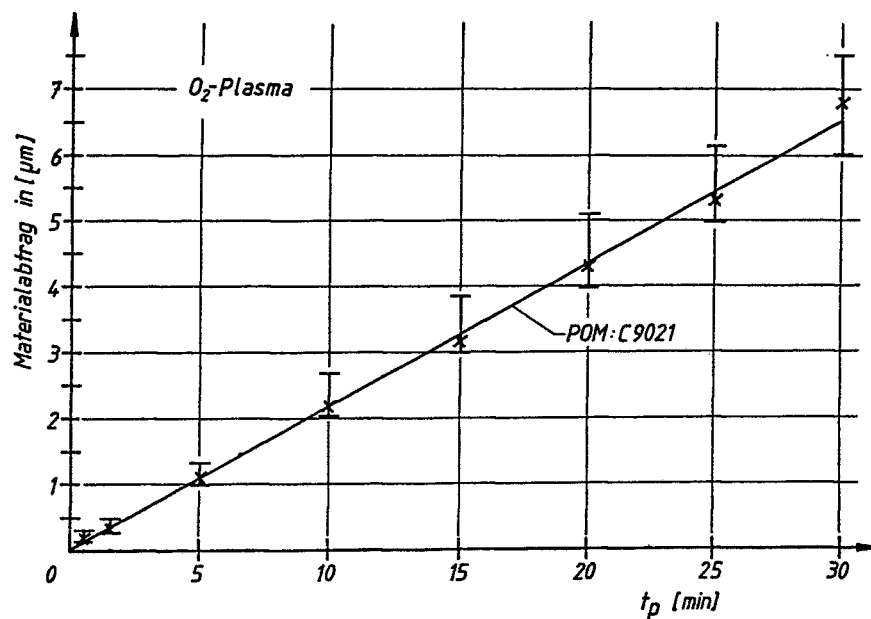


Bild 3 Mittlerer Werkstoffabtrag von der Oberfläche eines POM-Teiles durch eine Sauerstoffplasmabehandlung

Im Gegensatz dazu konnte bei Polyethylen (PE) jedoch kein Abtrag von der Oberfläche festgestellt werden /9/.

6. Einflußfaktoren

Ausgehend von dem Aufbau einer Ndp-Anlage ergeben sich folgende Einflußparameter auf die erreichbare Klebfestigkeit:

- zu behandelnder Werkstoff,
- Behandlungszeit,
- Gasart,
- Gasdurchsatz,
- Plasmaleistung,
- Erregerfrequenz,
- und der Druck in der Plasmakammer.

Zusätzlich zu diesen Parametern treten noch weitere auf, auf die später noch eingegangen wird. Die Wirkung der Einflußfaktoren kann nur an Beispielen aufgezeigt werden. Zum Einfluß der Erregerfrequenz wurden keine Untersuchungen durchgeführt.

7. Einfluß der Behandlungsdauer bei Polypropylen (PP)

In **Bild 4** ist die Klebfestigkeit von PP-Stahl-Klebverbindungen mit Araldit AW 106 und die Oberflächenstruktur des PP nach einer Behandlung im Sauerstoffplasma dargestellt. Die Klebfestigkeit erreicht bereits nach 6 s Behandlungsdauer, der kürzesten am Plasmaprozessor einstellbaren Behandlungszeit, ihr Maximum. Durch eine längere Behandlung bis zu 30 min kann die Festigkeit nicht mehr gesteigert werden. Allerdings ist eine Änderung im Bruchverhalten festgestellt worden; während die kürzere Zeit behandelten PP-Teile adhäsiv oder in der Oberfläche des PP-Teiles versagen, kommt es bei längerer Behandlung zum Abbrechen der PP-Teile am Überlappungsende.

Die Oberfläche der PP-Teile wird bei kurzzeitigen Ndp-Behandlungen in ihrer Topographie nicht verändert. Nach 30 s Behand-

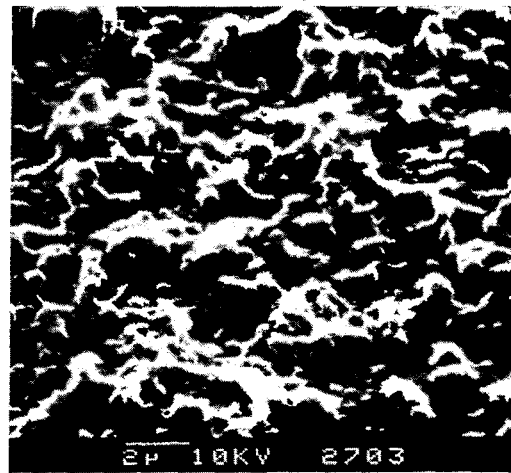
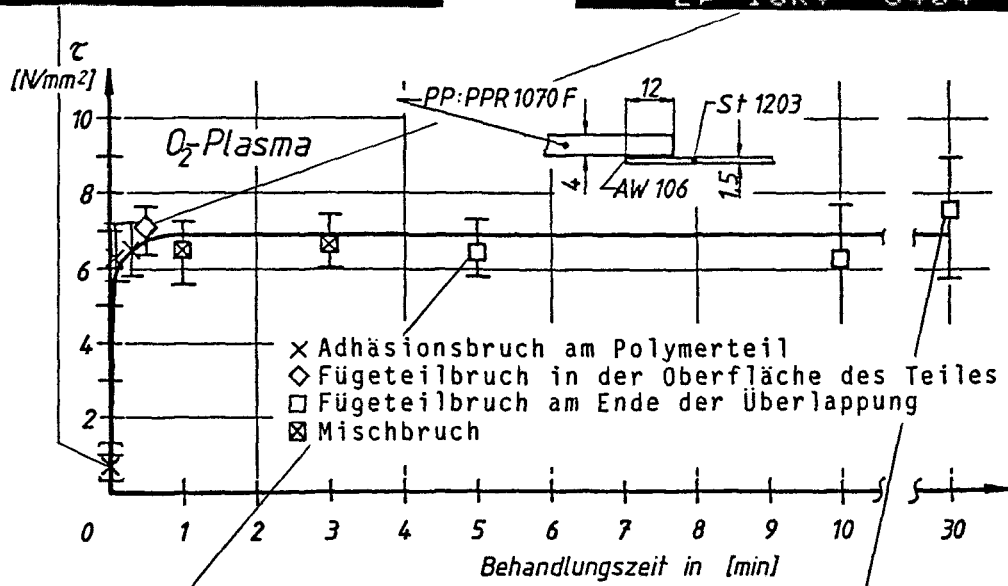
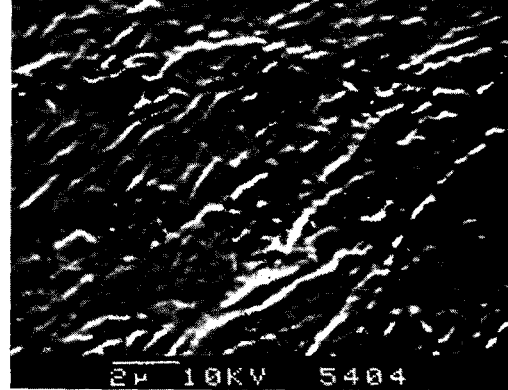
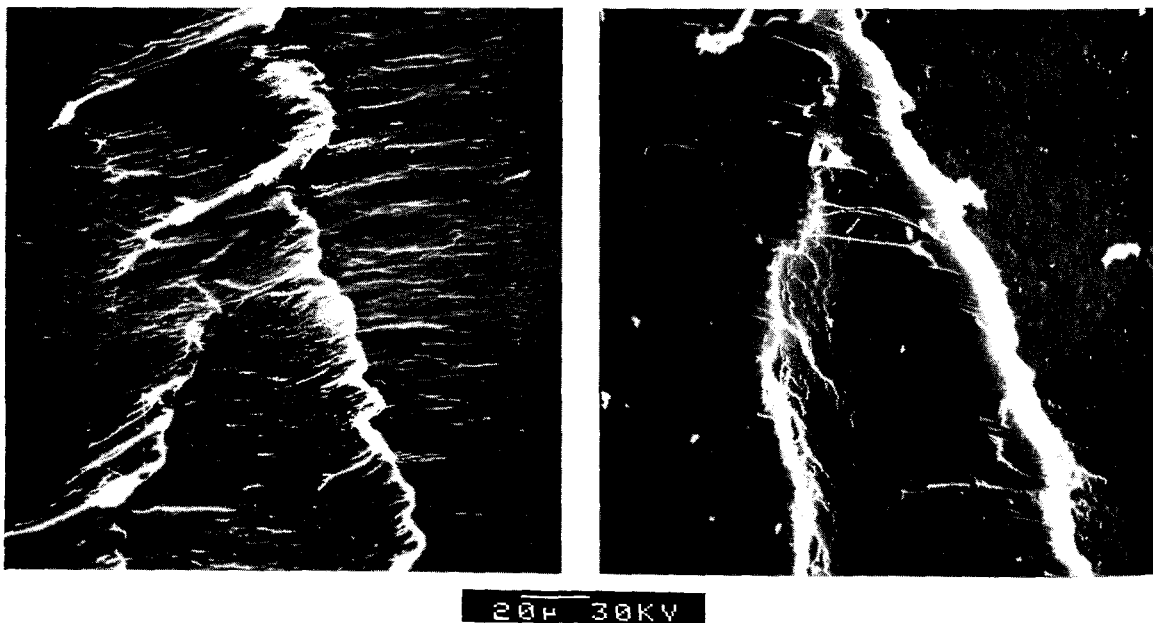


Bild 4 Klebfestigkeit von PP-Stahl-Klebverbindungen mit Araldit AW 106 und Oberflächenstruktur des PP in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer des PP im Sauerstoffplasma

lungszeit kann noch keine Veränderung gegenüber einer nichtbehandelten Oberfläche festgestellt werden. Dementsprechend folgt, daß nach 6 s ebenfalls noch keine nachweisbare Änderung in der Topographie der Oberfläche eingetreten war. Hieraus ergibt sich, daß bei PP zur Erzielung guter Klebfestigkeiten im Zugscherversuch keine Aufrauhung der Oberfläche notwendig ist. An den glatten Oberflächen spritzgegossener Teile können nach einer Ndp-Behandlung gute Klebfestigkeiten erzielt werden.

Bei längeren Behandlungen wird die Oberfläche stärker strukturiert. Gleichzeitig wird die Oberfläche abgetragen. Nach einer Behandlungsdauer von 30 min sind, wie aus REM-Aufnahmen zu entnehmen war, etwa 50 µm von der Oberfläche abgetragen.

In **Bild 5** ist der Bruch einer PP-Stahl-Klebverbindung mit Araldit AW 106 gezeigt. Das PP-Teil war 5 min im Sauerstoff-



5 a

5 b

Bild 5 Bruchstruktur einer PP-Stahl-Klebverbindung mit Araldit AW 106; PP 5 min im Sauerstoffplasma vorbehandelt
a) Bruchfläche des PP-Teiles
b) Bruchfläche des Stahlteiles

plasma vorbehandelt. In **Bild 5 a** ist die Bruchfläche des PP-Teiles wiedergegeben. Es zeigte sich, daß die Oberfläche stark verformt ist. Die Bruchfläche des Stahlteiles ist in **Bild 5 b** dargestellt. Auch hier sind stark verformte Bereiche zu erkennen. Da der duromere Epoxidharzklebstoff nur ein geringes plastisches Verformungsvermögen aufweist, folgt, daß es sich bei den verformten Bereichen nur um PP handeln kann. Somit ist der Bruch der Verbindung im PP-Teil erfolgt.

8. Einfluß der Gasart bei Polyethylen (PE)

Bei der Ndp-Behandlung kommen sowohl inerte Gase, wie Argon und Helium, als auch aktive Gase wie Sauerstoff, Stickstoff und Tetrafluormethan (CF_4) zum Einsatz. CF_4 wird als Ätzgas eingesetzt, wenn bei der Herstellung von Leiterplatten Ätzprozesse im Niederdruckplasma durchgeführt werden. Dieses Gas ist sehr teuer, so daß es bevorzugt als Gemisch mit Sauerstoff angewendet wird.

Bild 6 zeigt die Klebfestigkeit von PE-Stahl-Klebverbindungen in Abhängigkeit von der Behandlungszeit des PE in verschiedenen Plasmagasen. Bei einer Behandlungszeit von 6 s ist der Festigkeitsanstieg bei allen Gasen in etwa gleich. Längere Behandlungszeiten führen zu unterschiedlichen Ergebnissen: während bei der Verwendung von Stickstoffplasma die Festigkeit nur noch wenig gesteigert werden kann, nimmt bei allen anderen Gasen die Klebfestigkeit stärker zu. Die besten Ergebnisse werden mit Sauerstoff bzw. mit dem Sauerstoff- CF_4 -Gemisch (50:50) erzielt. Der dargestellte Zusammenhang zwischen der Behandlungszeit und der Klebfestigkeit läßt den Schluß zu, daß bei der Ndp-Behandlung unterschiedliche Mechanismen wirksam werden.

Die Festigkeitssteigerung, die bei kurzen Behandlungszeiten bei allen Gasen gleich ist, könnte auf der Wirkung des elektrischen Feldes oder auf Stoßvorgängen zwischen den Plasmateilchen und

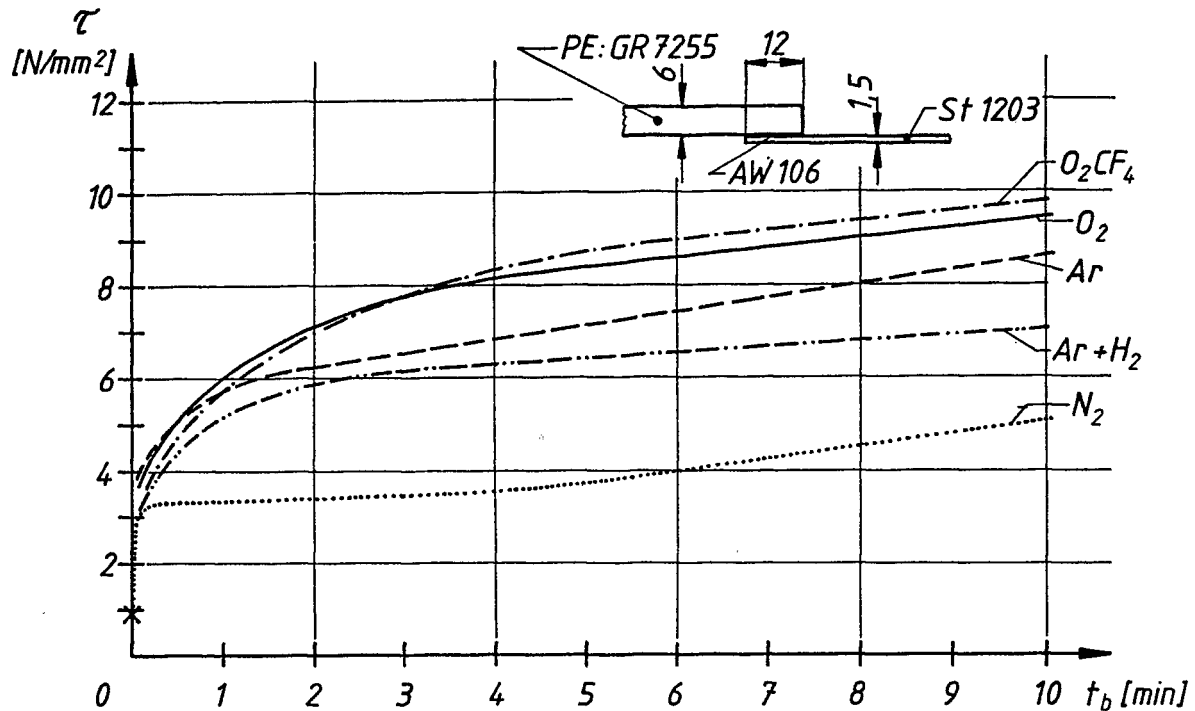


Bild 6 Klebfestigkeit von PE-Stahl-Kleilverbindungen mit Araldit AW 106 in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer des PE mit unterschiedlichen Plasmagasen

der Kunststoffoberfläche beruhen. Erst bei längeren Behandlungszeiten wird die Behandlung auch durch die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Plasmagase beeinflusst.

9. Einfluß der Plasmaleistung

Eine Steigerung der Hochfrequenzleistung des Plasmaprozessors von 50 auf 200 W führt bei Polystyrol(PS) und PE nur zu einer geringen Erhöhungen der Klebfestigkeit.

Durch die Ndp-Behandlung kommt es zu einer Erwärmung der behandelten Teile, deren Höhe von der HF-Leistung des Plasmaprozessors und von der Behandlungsdauer abhängig ist. Bei Kunststoffen ist daher zu beachten, daß die Leistung und die dazugehörige Behandlungsdauer nicht so hoch gewählt werden, daß es zum

Anschmelzen der Kunststoffteile kommt. Dies tritt jedoch erst bei längeren Behandlungszeiten auf, z.B. bei PP erst nach 30 min.

10. Einfluß von Kammerdruck und Gasdurchsatz

Die Auswirkung von Kammerdruck und Gasdurchsatz auf die Klebfestigkeit wurde für PE ermittelt. Da die verwendete Vakuumpumpe mit konstantem Fördervolumen arbeitet, konnte der Kammerdruck und der Gasdurchsatz nicht unabhängig voneinander eingestellt werden. Eine Änderung des Gasdurchsatzes im Bereich zwischen 12 l/h und 24 l/h führte in der Plasmakammer zu einer Änderung des Druckes zwischen 30 Pa und 300 Pa. Die geänderten Prozeßparameter führten zu keiner Veränderung der Klebfestigkeit oder des Bruchverhaltens. Kleinere Schwankungen beim Druck und beim Gasdurchsatz, die ungewollt auftreten können, beeinträchtigen die Vorbehandlung also nicht. Da in der Regel Ndp-Anlagen mit Konstantpumpen betrieben werden, ist dieses Erkenntnis für die Verfahrenssicherheit von Bedeutung.

11. Einfluß der Position in der Plasmakammer

Bei der verwendeten Plasmaanlage wurde eine örtlich ungleichmäßige Plasmawirkung festgestellt. Um diese Ungleichmäßigkeit zu verringern, werden Geräte angeboten, in denen die Werkstücke im Trommelverfahren behandelt werden. Hierbei nehmen die Teile während der Behandlung unterschiedliche Positionen ein. Dieses Verfahren wird bereits mit Erfolg zur Vorbehandlung von im Bauteil liegenden Flächen (wie Bohrungen) eingesetzt, die während der Behandlung weder mit der Trommel noch mit den anderen Teilen in Berührung kommen können /10/. Adhäsionsvermindernde Abstreifeffekte, wie sie bei der Coronabehandlung von Folien bekannt sind, können so nicht auftreten. Ob mit diesem Verfahren auch außenliegende Flächen behandelt werden können, wurde noch nicht untersucht.

12. Weitere Einflußfaktoren

Einige Ergebnisse deuten darauf hin, daß auch die Art der **Beladung der Kammer**, d.h. die Anzahl der behandelten Proben in der Kammer, die Wirkung des Plasma auf die Oberfläche beeinflußt. Ursache hierfür dürften Abschirmeffekte sein.

Auch die **Dicke der Fügeteile** scheint die Klebfestigkeit nach einer Ndp-Behandlung zu beeinflussen. So mußten dickere Fügeteile aus PE länger als dünnere behandelt werden, um die maximale Klebfestigkeit zu erreichen /9/. Die maximale Festigkeit war bei den dickeren Teilen allerdings höher als bei dünnen Teilen. Die Ursache für dieses Verhalten konnte bisher noch nicht geklärt werden. Es ist zu vermuten, daß der bei unterschiedlichen Fügeteildicken veränderte Spannungszustand in Verbindung mit der, durch die Ndp-Behandlung veränderten Oberfläche, für das Verhalten verantwortlich ist. Eine längere Ndp-Behandlung kann zu einem höheren Vernetzungszustand in der Fügeteiloberfläche führen und damit eine höhere Belastung der Randschichten ermöglichen.

13. Liegezeiteinfluß

Als Liegezeit wird die Zeit zwischen dem Ende einer Oberflächenvorbehandlung und dem Klebstoff- bzw. Primerauftrag auf diese Fläche definiert.

Während der Liegezeit kann sich eine vorbehandelte Oberfläche verändern, was gegebenenfalls die Klebfestigkeit beeinflusst. Der Liegezeit kann folglich ein Einfluß auf die Klebfestigkeit zugeordnet werden. Er ist für die Praktikabilität eines Vorbehandlungsverfahrens von großer Bedeutung, da bei einem stark festigkeitsvermindernden Liegezeiteinfluß unmittelbar nach einer Vorbehandlung geklebt oder ein Primerauftrag durchgeführt werden muß.

Der Einfluß der Liegezeit auf die Klebfestigkeit ist vom vorbehandelten Werkstoff und der Art der Vorbehandlung abhängig. Systematische Untersuchungen liegen bisher nicht vor. **Bild 7** zeigt, wie die Klebfestigkeit durch die Liegezeit nach einer Behandlung im Sauerstoffplasma beeinflusst wird. Bei POM war der Vorbehandlungseffekt nach 48 Stunden Liegezeit etwa zur Hälfte wieder abgeklungen. Nach einer Ndp-Behandlung von PE und PS tritt hingegen bei Liegezeiten bis zu 200 bzw. 120 h keine Veränderung der Klebfestigkeit ein.

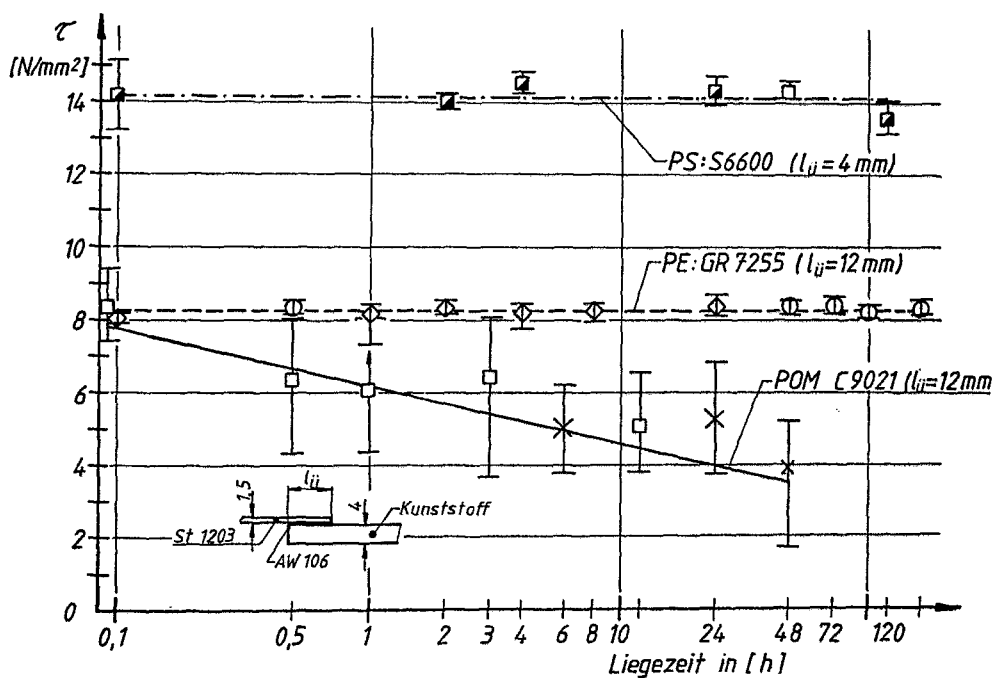


Bild 7 Einfluß der Liegezeit auf die Klebfestigkeit

14. Einfluß der Spaltgängigkeit einer Vorbehandlung

Unter der **Spaltgängigkeit** eines Klebflächenvorbehandlungsverfahrens wird die Wirksamkeit einer Vorbehandlung in engen Spalten verstanden. Die Notwendigkeit einer Behandlung von Oberflächen in Spalten und an Hinterschneidungen grenzt die Einsatzmöglichkeit vieler Vorbehandlungsverfahren ein. So kann an diesen Stellen eine Coronavorbehandlung nur schwer durchgeführt werden, weil eine Elektrode in den Spalt bzw. an die

Hinterschneidung herangeführt werden muß. Während es beim Beizen in Flüssigkeiten an Hinterschneidungen weniger Probleme geben dürfte, muß in engeren Spalten, wegen des behinderten Austausches des Beizmittels, mit ungleichmäßigen Beizergebnissen gerechnet werden. Auch bei einer Flammvorbehandlung dürfte in engen Spalten keine gleichmäßige Vorbehandlung zu erwarten sein, da die Flamme in Spalten nur schlecht hineinkommt.

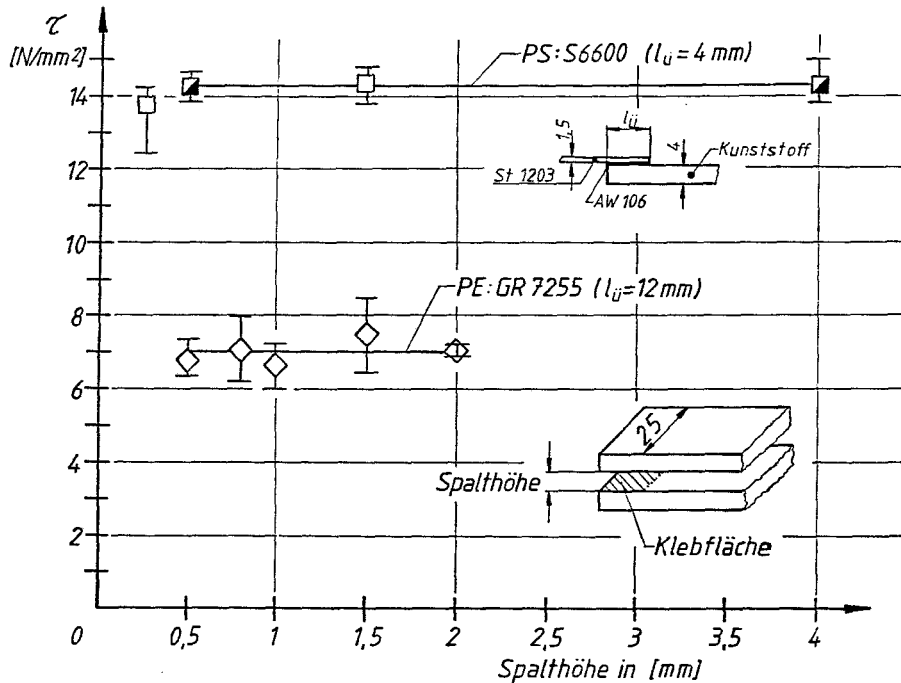


Bild 8 Einfluß der Spalthöhe bei einer Ndp-Behandlung auf die Klebfestigkeit

In **Bild 8** ist der Einfluß der Spalthöhe zwischen zwei PE bzw. PS-Teilen bei der Ndp-Behandlung mit Sauerstoff auf die Klebfestigkeit dargestellt. Die im Spalt einander zugekehrten-Flächen sind nach der Behandlung im Sauerstoffplasma mit Araldit AW 106 auf geschmirlgelten Stahl geklebt worden. Es zeigt sich, daß weder die Klebfestigkeit noch das Bruchverhalten durch den Spalt verändert wird. Die Wirkung der Ndp-Behandlung ist in Spalten genauso gut wie an einer frei zugänglichen Fläche. Damit ist die Ndp-Behandlung in dieser Hinsicht den anderen Vorbehandlungsverfahren überlegen.

15. Vergleich der Vorbehandlungswirkung

In Bild 9 sind für PE und POM die Klebfestigkeiten ohne Vorbehandlung, nach einer Ndp-Vorbehandlung und nach dem Beizen mit Chromschwefelsäure dargestellt. Das Beizen in Chromschwefelsäure ist ein seit langem bekanntes und sehr wirksames Vorbehandlungsverfahren. Das Bild zeigt, daß diese beiden Kunststoffe ohne Vorbehandlung nur mit geringen Festigkeiten geklebt werden können; die Verbindungen versagen adhäsiv.

Die nach einer Vorbehandlung geklebten POM-Teile brechen bei der Prüfung der Verbindungen im Kunststoffteil am Überlappungsende ab. Der Unterschied in der Klebfestigkeit nach dem Beizen in Chromschwefelsäure und der Sauerstoffplasmabehandlung beruht somit nicht auf der Qualität der Vorbehandlung. Da in beiden Fällen Brüche im POM aufgetreten sind, liegt die Ursache in den unterschiedlichen Randbedingungen der Proben: während die in Chromschwefelsäure gebeizten Proben einen Klebwulst hatten, ist der Wulst bei den plasmabehandelten Proben abgearbeitet worden. Der unterschiedliche Materialabtrag durch die Vorbehandlungen /9/ könnte allerdings auch eine Rolle gespielt haben.

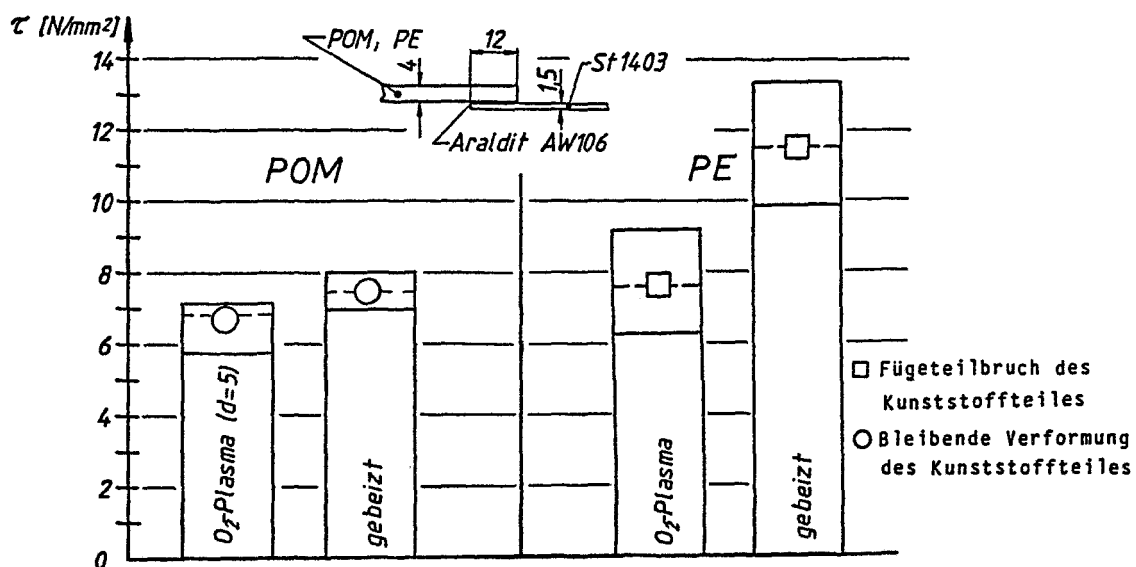


Bild 9 Vergleich der Klebfestigkeiten von POM und PE ohne Vorbehandlung und nach dem Beizen in Chromschwefelsäure bzw. nach einer Ndp-Behandlung.

In **Bild 9** sind auch die maximalen Klebfestigkeiten von in Chromschwefelsäure gebeizten und plasmabehandelten PE dargestellt. Es zeigt sich, daß nach beiden Vorbehandlungen die Klebverbindungen bei der Prüfung nicht versagen, sondern die PE-Teile wurden bleibend verformt. Der Prüfvorgang ist nach dem Überschreiten der Streckgrenze der PE-Teile beendet worden. Die unterschiedlichen Festigkeiten können auf die verschiedenen Materialdicken (4 und 5 mm) der PE-Teile zurückgeführt werden.

Damit kann festgestellt werden, daß die Ndp-Vorbehandlung dem Beizen in Chromschwefelsäure ebenbürtig ist.

16. Vor- und Nachteile der Ndp-Vorbehandlung

Abschließend sollen die Vor- und Nachteile einer Ndp-Behandlung zusammengestellt werden:

Von Vorteil ist, daß das Verfahren einfach und sauber durchgeführt werden kann, da weder Beizbadansätze noch -überwachungen erfolgen müssen. Als Vakuumprozeß läuft die Behandlung im geschlossenen System ab und weist daher eine hohe Arbeitsplatzsicherheit auf. Eine Beeinträchtigung von benachbarten Arbeitsplätzen findet nicht statt. Weiterhin fallen nur geringe Mengen von Abfallprodukten an, das Verfahren ist umweltfreundlich.

Die Ndp-Behandlung kann bei unterschiedlichen Kunststoffen eingesetzt werden. Ein Wechsel der zu behandelnden Kunststoffe ist ohne Änderung im apparativen Aufbau möglich. Hierzu sind lediglich die Prozeßparameter für den neuen Kunststoff am Gerät einzustellen. Gegebenenfalls muß noch das Prozeßgas gewechselt werden. Vorteilhaft ist auch die gute Wirkung in Spalten.

Von Nachteil sind die relativ hohen Investitionskosten für eine Ndp-Anlage. Dem stehen jedoch die geringen Betriebskosten gegenüber. Bei Kostenvergleichen in der Leiterplattenindustrie

zwischen Plasmaätzen und einfachen Tauchprozessen in Beizbädern erwies sich das Plasmaätzen als das günstigere Verfahren /12/.

Als weitere Nachteile haben sich die Notwendigkeit z.T. längerer Behandlungszeiten (30 min für POM), die inhomogene Plasmawirkung und die diskontinuierliche Arbeitsweise herausgestellt.

17. Ausblick

Mit der geschilderten Verbesserung der Klebfestigkeit von thermoplastischen Kunststoffen dürften die Möglichkeiten der Oberflächentechnologie im Niederdruckplasma noch nicht erschöpft sein. Es gibt Hinweise, daß auch bei faserverstärkten Kunststoffen und bei Metallen mit einer Ndp-Behandlung die Adhäsionsfreudigkeit verbessert werden kann. Weiterhin dürfte es möglich sein, antiadhäsive Schichten zu erzeugen. Auch eine Beeinflussung der Permeabilität von Kunststoffen scheint machbar zu sein.

Weiterentwicklungen bei den Ndp-Anlagen sind wahrscheinlich, so daß sich im Prozeßablauf noch einiges verändern kann. Es sind Maschinen zu erwarten, die kontinuierlich oder quasi kontinuierlich arbeiten.

Literatur

/1/ N.N.:

Physikhütte, Bd. 2
Berlin 1971

/2/ Straka, S.:

Untersuchungen zur Klebflächenvorbehandlung von
Kunststoffen im Plasmaprozessor
Diplomarbeit TU Berlin, 1981

- /3/ Gärtner, J.:
Einfluß einer Niederdruckplasmavorbehandlung auf
die Festigkeit von PE-Stahl-Klebverbindungen
Studienarbeit TU Berlin, 1984
- /4/ Hansen, R.H. und Schonhorn, H.:
A New Technique for Preparing Low Surface Energy
Polymers for Adhesive Bonding
Journal of Polymer Science, Polymer Letters,
Vol.4 (1966), S. 203-209
- /5/ Hall, J.R., Westerdahl, C.A.L., Bodnar, M.J. u. D.W. Lewi:
Effects of Activated Gas Plasma Treatment Time on
Adhesive Bondability of Polymers.
Journal of Applied Polymer Science, Vol.16
(1972), S.1465-1477
- /6/ Kim, C.Y., Evans, J. und D.A.I. Goring:
Corona-Inducted Autohesion of Polyethylene.
Journal of Applied Polymer Science, Vol.15
(1971), S.1365-1375
- /7/ van der Linden, R.:
Die Corona-Vorbehandlung von PE-Folien
Kunststoffe 69(1979)2, S.71-75
- /8/ Loewe, O.:
Untersuchungen der Veränderungen von Sauerstoff-
plasmabehandelten PP-Oberflächen
Studienarbeit TU Berlin 1986
- /9/ Rasche, M.:
Qualitätsbestimmende Einflußgrößen bei Kunststoff-
Metall-Klebverbindungen
Schweißtechnische Forschungsberichte Band 5
Düsseldorf 1986

/10/ Dorn, L., Bischoff, R., Rasche, M.:

Klebflächenvorbehandlung im Niederdruckplasma
Kunststoffberater 1984 H.7/8, S.22-26

/11/ Lucke, H.:

Kunststoffe und ihre Verklebung
Hamburg 1967

/12/ Dorn, L., Rasche, M., Bell, G.:

Kleben von Kunststoffen nach Vorbehandlung im
Niederdruckplasma
Kunststoffe 73(1983)3, S.139-142